

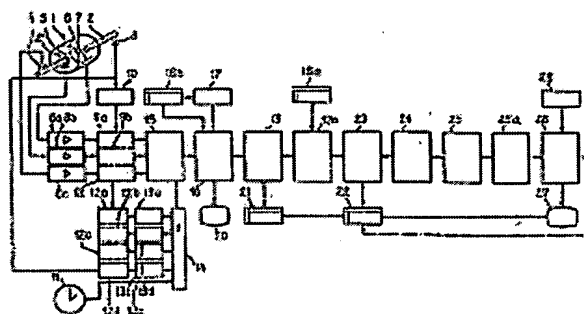
Method for monitoring the operational state of a machine or installation

Patent number: DE4406723
Publication date: 1994-09-01
Inventor: BOETIUS JOACHIM DR (DE)
Applicant: BOETIUS & PARTNER INFORMATIONS (DE)
Classification:
- **international:** G01M7/02; G01M13/04; G01M15/00; G01H1/00
- **europaen:** G01H1/00B
Application number: DE19944406723 19940225
Priority number(s): DE19934306842 19930227; DE19944406723 19940225

Report a data error here

Abstract of DE4406723

A description is given of a method for monitoring the operational state of a machine or installation, in particular of a turbo engine, in which oscillation signals on parts of the machine or installation are picked up, are subjected to signal processing containing an amplification, a Fourier analysis and a comparison with predetermined reference values and variables obtained as a result of this signal processing are combined with further physical variables describing the operational state of the machine or installation to form an operational state vector and, for purposes of interpreting the operational state, are compared with stored sample vectors characterising typical operational states and having the same structure as the operational state vector, in such a way that, as a result of this comparison, an identification signal containing a characteristic value for the operational state of the machine or installation is output, three-dimensional matrices being used as sample vectors, which matrices contain in each element a probability statement relevant to the comparison with a corresponding element of the operational state vector, and the comparison of the operational state vector with the sample vectors in each case being carried out as a comparison of their individual elements and yielding a probability coefficient for the probability value of a known operational state expressed by the sample vector.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 44 06 723 B4** 2005.02.03

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **P 44 06 723.2**
(22) Anmeldetag: **25.02.1994**
(43) Offenlegungstag: **01.09.1994**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **03.02.2005**

(51) Int Cl.7: **G01M 7/02**
G01M 13/04, G01M 15/00, G01H 1/00

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(66) Innere Priorität:
P 43 06 842.1 27.02.1993

(71) Patentinhaber:
Dr. Boetius + Partner Informationssysteme GmbH,
13187 Berlin, DE

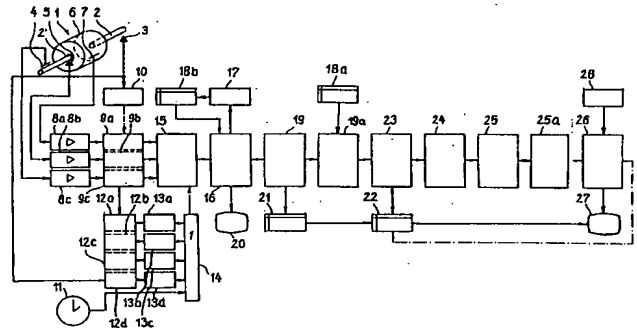
(74) Vertreter:
Christiansen, H., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 14476 Neu
Fahrland

(72) Erfinder:
Boetius, Joachim, Dr., 13156 Berlin, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 40 32 299 C2
DE 31 12 567 C2
DE 30 31 812 C2
DE 42 19 372 A1
VDI Berichte Nr. 846, 1990,
S. 83-109;
ABC Technik u. Naturwissenschaft,
Bd. 2, L-Z, Frankfurt/Main, im DPA
eingeg. am 15.12.1970, S. 1140;

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Überwachung des Betriebszustands einer Maschine oder Anlage**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Überwachung des Betriebszustands einer Maschine oder Anlage, bei dem Schwingungssignale an Teilen der Maschine oder Anlage aufgenommen, einer Signalaufbereitung unterzogen und im Ergebnis dieser Signalaufbereitung erhaltene Größen zusammen mit weiteren, den Betriebszustand der Maschine oder Anlage beschreibenden physikalischen Größen zu einem Betriebszustandsvektor zusammengefasst und zum Zweck der Interpretation des Betriebszustandes mit gespeicherten, typische Betriebszustände kennzeichnenden und in ihren Zeilen die gleiche Struktur wie der Betriebszustandsvektor aufweisenden Mustermatrizen mit Hilfe einer Wahrscheinlichkeitsfunktion verglichen werden, wobei im Ergebnis dieses Vergleichs ein eine Kenngröße für den Betriebszustand der Maschine oder Anlage beinhaltendes Identifikationssignal ausgegeben wird, dadurch gekennzeichnet, daß drei- oder mehrzeilige Mustermatrizen verwendet werden, deren Spaltenzahl der Anzahl der Elemente des Betriebszustandsvektors entspricht und die in einer ersten Zeile den Elementen des Betriebsvektors zugeordnete Sollwerte oder boolsche Werte, in einer zweiten Zeile die Art des Wertes betreffende Zusatzinformationen und in einer dritten Zeile den Vergleich mit den Elementen des...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Art.

Stand der Technik

[0002] Ein solches Verfahren ist aus der US-Patentschrift 4 352 293 und der DE 30 31 812 bekannt. Bei diesem Verfahren werden zur Diagnose des Betriebsverhaltens einer Turbomaschine Schwingungssignale an verschiedenen Lagerstellen der Maschine aufgenommen, einer Verstärkung, einer Fourier-Analyse und einem Vergleich mit vorgegebenen Bezugswerten in Form einer Trendanalyse aufweisenden Signalaufbereitung unterzogen und im Ergebnis dieser Signalaufbereitung erhaltene Größen zusammen mit weiteren, den Betriebszustand der Maschine beschreibenden physikalischen Größen zusammengefaßt und zum Zweck der Interpretation des Betriebszustandes mit einer vorgegebenen Menge gespeicherter, typische Betriebszustände kennzeichnender und die gleiche Struktur wie das aktuelle Signalmuster aufweisender gespeicherter Muster ("source patterns") in einer vorgegebenen Reihenfolge verglichen und im Ergebnis dieses Vergleichs eine Art Diagnose-Vektor erstellt, der schließlich gespeicherten Diagnose-Vektoren mit jeweils einer bestimmten zugeordneten Diagnose-Aussage gegenübergestellt wird, wobei das Ergebnis dieses letzten Vergleichs die Diagnose ist.

[0003] Dieses bekannte verfahren bedient sich bei der Aufbereitung der Signale einfacher Grundmuster und bei den in ihm enthaltenen Vergleichsschritten strenger Ja/Nein-Aussagen bzw. logischer "1"/"0"-Werte, was bei einer praktisch unendlichen Anzahl möglicher, sich geringfügig unterscheidender Schwingungs- und weiterer Betriebssignale gegenüber einer begrenzten Anzahl typischer Betriebszustände ein vom Ansatz her wenig zielgerichtetes Vorgehen ist und entweder eine sehr große Anzahl gespeicherter Signalmuster (und entsprechend große Speicherkapazität und Diagnosezeit) erfordert oder die Gefahr erheblicher Fehler birgt.

[0004] Ein Verfahren zur Überwachung und Schwingungsdiagnose von Kraftwerksturbosätzen und der Bildung eines Zustandsvektors ist aus VDI-Bericht 846, 1990, Seiten 83 bis 109 bekannt.

[0005] Aus der DE 31 12 567 sind außerdem eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung eines Anzeichens für eine ungewöhnliche Arbeitsweise einer Rotationsmaschine bekannt, bei denen Symptomdiagnosebereiche in Zeitintervallen eines Symptomdiagnosezeitraumes bestimmt werden und festgestellt wird, ob der Pegel des gemessenen Vibrationssignals von dem der Symptomdiagnosebereiche abweicht.

Aufgabenstellung

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem Verfahren der eingangs genannten Art die Aussagekraft der Ergebnisse bei gleichzeitiger Begrenzung der erforderlichen Speicherkapazität und Zeit zu verringern.

[0007] Diese Aufgabe wird durch ein verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

[0008] Die Erfindung schließt die Erkenntnis ein, daß ein Überwachungsverfahren mit Mustererkennung so auszubilden ist, daß aus direkt in ihrer Zeitabhängigkeit erfaßten Meß-, d.h. Schwingungs- und weiteren Betriebsdaten auf verschiedene, dem Anwendungsfall und dem jeweiligen Parameter angepaßte Weise zunächst Kennwerte mit diagnostischer Relevanz gewonnen werden, die als Elemente in Betriebszustandsvektoren eingehen, welche ihrerseits anschließend einem Elementen-vergleich mit mehrdimensionalen, Wahrscheinlichkeitsaussagen enthaltenden Mustervektoren unterzogen werden. Ergebnis des Vergleichs sind Wahrscheinlichkeitsbeiträge zum Wahrscheinlichkeitswert des gesamten betreffenden Mustervektors. Die Wahrscheinlichkeitswerte der einzelnen Mustervektoren werden schließlich der Ausgabe eines Identifikationssignals zugrundegelegt, welches eine erhöhte Signifikanz hinsichtlich der die Maschine oder Anlage beschreibenden Kennwerte aufweist.

[0009] Insbesondere erfolgt die Auswertung der Betriebszustandsvektoren mittels einer Differenzbildung zu Zustandsvektoren, die im ungestörten (d.h. Soll-, Intakt- oder Neuzuzustand der Maschine) ermittelt werden.

[0010] Ein wesentliches Merkmal dieser Weiterbildung des Verfahrens besteht dabei darin, daß der ungestörte, intakte Zustand der zu überwachenden Maschine durch einen in gleicher Weise strukturierten Zustandsvektor charakterisiert ist, der als Bezugszustand für den aktuellen zu diagnostizierenden Zustandsvektor dient, und mit diesem elementweise zur Differenz gebracht wird. Die so gebildete Differenz, die für die Abweichung

vom ungestörten Zustand steht, wird im weiteren mit dem Mustervektor verglichen.

[0011] Eine andere bevorzugte Ausgestaltung des Verfahrens besteht darin, zunächst – etwa durch Mittelwert-, Scheitelwert- oder Effektivwertbildung, die Ermittlung der Amplituden einzelner Linien eines Frequenzspektrums, die Ermittlung der Zeigerwerte von Harmonischen der Rotordrehzahl, Differenz- oder Quotientenbildung der Werte untereinander sowie mittels Gradientenbildung – primäre Kennwerte zu gewinnen und dann aus solchen durch erneute Differenz- oder Verhältnisbildung miteinander sekundäre Kennwerte zu bilden, wobei die primären und die sekundären Kennwerte in den Betriebszustandsvektor eingehen.

[0012] Bezüglich der Weiterverarbeitung der durch den Vergleich des Betriebszustandsvektors bzw. dessen Differenz mit den einzelnen Mustervektoren gewonnenen Information besteht eine bevorzugte Variante des Verfahrens darin, daß als Identifikationssignal das dem Mustervektor mit dem höchsten Wahrscheinlichkeitswert entsprechende Identifikationssignal ausgegeben wird.

[0013] Damit wird angezeigt, daß eine große Wahrscheinlichkeit dafür besteht, daß ein bestimmter, durch den Mustervektor eindeutig beschriebener Betriebszustand vorliegt.

[0014] Eine andere vorteilhafte Variante in dieser Hinsicht besteht darin, daß der Wahrscheinlichkeitswert eines jeden Mustervektors mit einem sich aus der Anzahl der relevanten Elemente des Mustervektors und der Anzahl der diesen entsprechenden, aber nicht gültigen (beispielsweise abgeschalteten Meßstellen an der Maschine entsprechenden) Elemente des Zustandsvektors ergebenden Gültigkeitskennwert multipliziert und das Produkt aus Wahrscheinlichkeitswert und Gültigkeitskennwert der Mustervektoren bei der Synthese des auszugebenden Identifikationssignals zugrundegelegt wird.

[0015] Damit wird berücksichtigt, daß ein hoher Wahrscheinlichkeitswert, der auf vergleichsweise wenigen gültigen Elementen des Zustandsvektors basiert, weniger signifikant für die Beschreibung des Betriebszustandes sein kann als ein niedrigerer Wert, der aber auf vielen gültigen Elementen beruht.

[0016] Im Ergebnis wird wiederum – allerdings unter Einbeziehung einer wichtigen zusätzlichen Information – ein bestimmter, durch einen Mustervektor beschriebener Betriebszustand identifiziert oder es kann angezeigt werden, daß quasi ein "Misch-Zustand" aus mehreren, jeweils durch einen Mustervektor eindeutig beschriebenen Betriebszuständen anzunehmen ist.

[0017] Die Aufbereitung der Schwingungssignale und die nachfolgenden Schritte können in vorgegebenen Zeitabschnitten – insbesondere während des An- und Abfahrens – und/oder zu vorgegebenen Zeitpunkten – etwa in vor bestimmten Intervallen, die von der Rotordrehzahl abgeleitet sind – des Betriebs der Maschine oder nur "bei Bedarf", wenn die Abweichung eines der Schwingungssignale oder sonstigen Betriebsparameter von einem vorhergehend aufgenommenen Wert einen vorgegebenen Betrag überschreitet, ausgeführt werden.

[0018] Zu den neben den Schwingungssignalen zur Erreichung einer sicheren Diagnose gemessenen physikalischen Größen gehören – in Abhängigkeit vom konkreten Anwendungsumfeld des Verfahrens – die Wellenlage und -bahn der Rotorwelle und/oder die Lagermetalltemperatur und/oder der Lageröldruck und -temperatur der Maschine. Zusätzlich relevant sind relative und absolute Dehnungen. Außerdem werden solche Betriebsparameter wie Leistung, Durchsatz, Druck etc. bevorzugt ausgewertet.

[0019] Natürlich kommen (insbesondere bei komplizierten Anlagen) auch andere Parameter in Frage, die ggf. mit der mechanischen Funktion der Maschine bzw. Anlage nur in mittelbarem Zusammenhang stehen.

[0020] So können bei der Überwachung eines Kernreaktors neben Schwingungssignalen vom Reaktorgefäß bzw. vom Kühlkreislauf insbesondere radiometrische Meßwerte eine wichtige Rolle spielen, während bei der Überwachung einer störungsgefährdeten chemischen Anlage Prozeßparameter des darin durchgeführten chemischen Prozesses von Bedeutung sind.

[0021] Eine besonders zweckmäßige Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, mit dem im Ergebnis der Verfahrensschritte gewonnenen Identifikationssignal die überwachte Maschine oder Anlage unmittelbar zu steuern, indem es einer Verarbeitungseinheit zugeführt, in dieser zur Erzeugung eines Steuersignals weiterverarbeitet und das Steuersignal schließlich einer Steuereinheit der Maschine oder Anlage zugeführt wird. Eine derartige Steuerung kann beispielsweise auch darin bestehen, daß die Maschine oder Anlage stillgesetzt wird, wenn dies durch die ausgewerteten Betriebsdaten geboten ist.

[0022] Bei einer anderen bevorzugten Ausführungsform werden die erhaltenen Betriebszustände repräsentierenden Kennwerte auf einem Display in symbolischer Form angezeigt, so daß – beispielsweise im Zusammenhang mit einer schematischen Blockdarstellung der Anlage – deren Funktionsbereiche, welche momentan Auffälligkeiten zeigen – farblich hervorgehoben oder in sonstiger Weise gekennzeichnet werden können. Gleichzeitig oder bedarfsweise besteht auch die Möglichkeit, abweichende Betriebsparameter (Öltemperatur oder Vibrationen) entsprechend mit ihrem aktuellen Wert anzuzeigen.

[0023] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen genauer erläutert. von den Figuren zeigen:

[0024] Fig. 1 eine schematische Gesamtdarstellung des Verfahrens in einer ersten Ausführungsform als Blockschaltbild,

[0025] Fig. 2 eine grafische Darstellung zur weiteren Verdeutlichung des Verfahrens gemäß Fig. 1,

[0026] Fig. 3 eine schematische Darstellung der Synthese eines Zustandsvektors aus unterschiedlichen Elementen bei einer abgewandelten Ausführungsform sowie

[0027] Fig. 4 eine schematische Darstellung der Verfahrensschritte nach der Bildung des Zustandsvektors bei der abgewandelten Ausführungsform.

Ausführungsbeispiel

[0028] Die Beschreibung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens soll zunächst anhand der Fig. 1 und 2 erfolgen, wobei in Fig. 1 die einzelnen bei dem Verfahren zu durchlaufenden Stufen dargestellt sind, während in Fig. 2 die Struktur der nachfolgenden Beschreibung erwähnten Vektoren für einen Maschinenzustand vertikal untereinander grafisch dargestellt sind. In der horizontalen sind dabei die verschiedenen aufgenommenen, den Maschinenzustand charakterisierenden Werte erkennbar.

[0029] Wie Fig. 1 zeigt, werden an der Welle 2 eines Generators 1 mittels eines Impulsgebers 3 ein Drehzahl-Signal und mittels eines Positionsfühlers 4 die Wellenlage sowie deren Schwingungen, am Lager 2' der Welle mittels eines Thermoelements 5 die Lagertemperatur und am Generatorgehäuse 6 mittels eines Schwingungsaufnehmers 7 dessen Schwingungen in Abhängigkeit von der Zeit aufgenommen.

[0030] Die aufgenommenen Meßsignale werden nach einer Verstärkung in Verstärkern 8a, 8b und 8c in je einem Analog-Digital-Umsetzer 9a, 9b und 9c; denen durch einen Taktgeber 10 ein aus dem Drehzahlsignal durch Vervielfachung gewonnenes Triggersignal zugeführt wird, in digitale Signale umgewandelt.

[0031] Unter der Steuerung durch eine Zeitbasis 11 (während der An- und Abfahrphase sowie zur Kontrollaufzeichnung von Meßwerten in regelmäßigen Abständen) bzw. aufgrund des Ergebnisses einer Differenzierung der Meßwerte in Differenziergliedern 12a, 12b und 12c und einer Diskriminierung in Diskriminatoren 13a, 13b und 13c, wobei die Steuerung über ein ODER-Glied 14 mit (in diesem Fall) fünf Eingängen realisiert wird, erfolgt eine Abspeicherung der Meßwerte in einen Mehrkanalspeicher 15 während des An- und Abfahrvorganges sowie zu vorgegebenen Zeitpunkten oder dann, wenn eine der Meßstellen einen gegenüber dem letzten aufgenommenen Wert abweichenden Wert liefert. Dabei wird vom Impulsgeber 3 ein Drehzahlsignal in einem Drehzahlgeber 12d erzeugt und entsprechend an einen Diskriminator 13d weitergegeben.

[0032] Gleichzeitig können die Meßwerte auf einer – hier zur Vereinfachung weggelassenen – Anzeigeeinheit (etwa einem Bildschirm) angezeigt werden, wobei gegebenenfalls die die Tatsache, daß Meßwerte dargestellt und gespeichert werden, auch zusätzlich optisch oder akustisch signalisiert werden kann.

[0033] Aus dem Mehrkanalspeicher 15 gelangen die Meßwerte zur Signalverarbeitungseinheit 16, in der die Schwingungssignale insbesondere einer Fourier-Analyse, der Bestimmung der einzelnen Amplituden- und Phasenwerte der Harmonischen, der Trennung von Gleich- und Gegenlaufanteil von Orbitgrößen sowie gegebenenfalls einer Gradientenbildung unterzogen werden.

[0034] Die Ergebnisse der Fourier-Analyse und der Trendanalysen werden nach Durchlaufen einer Konditionierungseinheit 17 in einen zweiten (als Schreib-Lese-Speicher ausgebildeten) Bezugswertspeicher (RAM) 18b für die Ermittlung von Gradienten, festgehalten und gelangen anschließend in den Block 19 zur Berechnung des Betriebszustandsvektors Z, nach einem vorbestimmten Algorithmus sowie zwecks Darstellung des

Zustands in grafischer Form oder in einer Textdarstellung zu einer Anzeigevorrichtung 20. Bei der Übertragung der Bezugswerte in den Speicher 18b wird gegebenenfalls eine Gradientenbildung in dem Zeittakt der Einspeicherung entsprechenden Zeitabständen durchgeführt.

[0035] Der Betriebszustandsvektor Z_i wird zur Sicherstellung der Verfügbarkeit als Mustervektor für spätere Diagnosen zunächst in einen Muster-Zwischenspeicher 21 eingeschrieben, kann jedoch nach Abschluß der Diagnose natürlich ohne weiteres wieder gelöscht werden, wenn sich herausstellt, daß er nicht zur Erweiterung der Basis für spätere Diagnosen geeignet ist. Im Normalfall wird er einer Weiterverarbeitung zur Synthese eines Mustervektors (mit weiter unten genauer erläuteter Struktur) unterzogen und als Schwellwert im Haupt-Musterspeicher 22 gespeichert.

[0036] Für den beschriebenen Diagnosevorgang steht dieser Mustervektor jedoch noch nicht unmittelbar zur Verfügung. Zunächst erfolgt ein Vergleich mit in einem Speicher 18a festgehaltenen Bezugsvektoren, welche Vergleichswerte darstellen, die auf einen Neu- oder Optimalzustand der Maschine bezogen sind. Eine Differenzbildung des in Block 19 gespeicherten Betriebszustandsvektors Z_i mit dem Bezugsvektor B_i aus dem Speicher 18a erfolgt in der Differenzeinheit 19a. Anschließend erfolgt ein elementenweiser (wahrscheinlichkeitsbehafteter) Vergleich der jeweils aktuellen Differenz des Betriebszustandsvektors $Z_i - B_i$ mit einem der bereits im Haupt-Musterspeicher 22 gespeicherten Mustervektoren IP_{ik} in der vergleichereinheit 23.

[0037] Das Ergebnis dieses Vergleichs ist eine Menge von Wahrscheinlichkeitsbeiträgen, jeweils für den Vergleich eines Elements des (Differenz-)Betriebszustandsvektors mit einem Element eines der Mustervektoren, die in einer Addierstufe 24 zum Wahrscheinlichkeitswert des betreffenden Musters aufsummiert werden, woraufhin zum Vergleich des Betriebszustandsvektors mit einem anderen der Mustervektoren übergegangen wird, der ebenso wie der erste Vergleich abläuft (vgl. dazu die Beschreibung zu Fig. 3 unten) usw., bis alle Muster durchgeprüft sind.

[0038] Alle Wahrscheinlichkeitswerte werden sukzessiv in den Speicher 25 eingespeichert und nach Abschluß der Vergleichsprozeder und Durchlaufen einer Divisionsstufe 25a zur Division durch die Anzahl der addierten Wahrscheinlichkeitsbeiträge einer Sortierstufe 26 zugeführt, wo ein Ordnen in der Reihenfolge der Wahrscheinlichkeit erfolgt, woraufhin ein Aufruf des wahrscheinlichsten Musters mitsamt dessen Interpretation aus dem Haupt-Musterspeicher 22 als Darstellung des Diagnoseergebnisses auf einer Anzeigevorrichtung 27 ausgelöst wird. Bei Ausgestaltung der Anzeigevorrichtung als Farbmonitor werden bevorzugt diejenigen Teile oder Bereiche der Maschine oder Anlage, welche Auffälligkeiten zeigt, grafisch (oder farblich) hervorgehoben. Dazu können dann auch entsprechende Kennwerte von Betriebsparametern als Zahlenwerte sowie Mitteilungen im Klartext dargestellt werden.

[0039] Sollte dem Bediener der Maschine die gelieferte Diagnose noch nicht zufriedenstellen, so verfügt er mit der Eingabevorrichtung 28 auch über die Möglichkeit, das oder die nächst wahrscheinliche(n) Muster entsprechend der Reihenfolge im Sortierer mit der zugehörigen Interpretation aus dem Haupt-Musterspeicher 22 abzurufen und auf der Anzeigevorrichtung 27 darstellen zu lassen.

[0040] In einer abgewandelten (nicht abgebildeten) Ausführungsform ist der Ausgang des Haupt-Musterspeichers 22 auch mit einem Steuerbefehlsspeicher verbunden, in dem jedem Mustervektor eine Menge von Steuerbefehlen für den Generator zugeordnet ist, die abgerufen und einer Steuereinheit des Generators zugeführt werden, um den weiteren Betrieb – gegebenenfalls bis hin zur Notabschaltung – aufgrund der gewonnenen Diagnose direkt zu steuern. Natürlich verfügt der Bediener auch in diesem Falle über eine Eingriffsmöglichkeit.

[0041] Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf die Fig. 3 und 4 die Methodik bei der Synthese des Betriebszustandsvektors, die Struktur der Mustervektoren und der Ablauf der eigentlichen Diagnose noch einmal in Art eines Flußdiagramms (in zwei Abschnitten) bei einer abgewandelten Ausführungsform skizziert. Die dargestellten Flußdiagramme entsprechen Blockschaltbildern von Vorrichtungen zur Durchführung des beanspruchten Verfahrens.

[0042] In Fig. 3 sind neben dem Triggersignal drei unterschiedlich zu handhabende Signaltypen zu unterscheiden: Wechselspannungssignale ("AC-Signal"), Gleichspannungssignale ("DC-Signal") und Binärsignale, welche Eingangssignale bilden.

[0043] Das Triggersignal wird nach Bedarf einer Vervielfachung unterzogen und damit der Abtastimpuls für die Steuerung des Abtastzeitpunktes und der Eckfrequenz eines der Analog-Digital-Wandlung der AC-Signale vorgeschalteten Antialiasfilters gewonnen.

[0044] Aus der erfaßten und nach Verstärkung, Filterung und Analog-Digital-Wandlung gespeicherten Zeitfunktion der AC Signale erfolgt durch Fourier-Analyse die Bestimmung der Frequenzanteile mit Amplitude und Phasenwinkel und ggf. weiterer Kennwerte.

[0045] Für die DC-Signale ist nach der Verstärkung und A/D-Wandlung ebenfalls ein Abspeichern eines einer Zeitfunktion entsprechenden Signals und anschließend eine Mittelwertbildung vorgesehen, während die Binärsignale lediglich konditioniert werden.

[0046] Im weiteren erfolgt optional sowohl eine Differenzbildung zu zeitlich vorher ermittelten Kennwerten zur Ermittlung von Gradienten und/oder fest definierten (beispielsweise durch eine statistische Mittelwertbildung erhaltenen) Bezugswerten und (beispielsweise durch Bildung von Quotienten aus Kennwerten) die Bildung abgeleiteter, sekundärer Kennwerte.

[0047] Alle derart erfaßten Werte werden zusammen mit den binären Statussignalen zu einem fest strukturierten Zustandsvektor (Betriebszustandsvektor) Z_i zusammengefaßt.

[0048] Dieser strukturierte Zustandsvektor bildet – wie in Fig. 4 gezeigt – die Basis für die weiteren Verfahrensschritte.

[0049] Im ersten der in Fig. 3 dargestellten Schritte erfolgt unter Heranziehung einer Wissensbasis, die einem Satz der weiter oben erwähnten Mustervektoren bzw. von Mustern entspricht, zunächst die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsbeiträge für die einzelnen Elemente eines Mustervektors.

[0050] Jeder Mustervektor IP_{ik} besitzt dabei eine identische Struktur wie der Zustandsvektor Z_i und wird durch eine dreizeilige Matrix mit folgenden Elementen je Zustandsstrukturelement gebildet:

i = Index des Strukturelements

k = 1 – Schwellwert

k = 2 – Direktor mit Zusatzinformation ob Minimum, Maximum, Sollwert oder boolscher Wert

k = 3 – Wahrscheinlichkeit des Erreichens des Schwellwertes bei der Interpretation

[0051] Die Zusatzinformation zum Schwellwert (Index $k = 2$) beinhaltet die Aussage, ob

– die Wahrscheinlichkeit sich auf die Unterschreitung des Schwellwertes

$m = \min$: Minimum

die Wahrscheinlichkeit sich auf die Überschreitung des Schwellwertes

$m = \max$: Maximum

– die Wahrscheinlichkeit sich auf die Erreichung des Schwellwertes

$m = \text{soll}$: Sollwert

– die Wahrscheinlichkeit sich auf den Wert "true" bezieht $m = \text{bool}$: boolscher Wert.

das Element nicht relevant ist $m = \text{nicht relevant}$

[0052] Die Erstellung dieser Wissensbasis erfolgt durch Eingabe der Strukturelemente der Matrix mit Zuordnung zu einer Interpretation.

[0053] Der im ersten Schritt nach Fig. 4 zu ermittelnde Wahrscheinlichkeitsbeitrag FW_i stellt sich als Funktion der Differenz von Zustandsvektor Z_i und Bezugsvektor B_i einerseits sowie dem Mustervektor IP_{ik} andererseits dar, d.h. für jedes Strukturelement gilt:

$$FW_i = f(Z_i - B_i, IP_{ik})$$

[0054] Die Funktion hängt davon ab, ob der das betreffende Strukturelement darstellende Wert ein Minimal-, Maximal-, Soll oder Boolscher Schwellwert ist, und sie kann frei als mathematisch geschlossene Funktion oder punktweise definiert werden.

[0055] In zwei bevorzugten Ausgestaltungen sind folgende Funktionen anzuwenden:

1. Exponentialfunktionen

$$FW_i = (1-x + (2x-1)*IP_{i3})^n \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

$$\text{mit } x = (IP_{i1}/(Z_i - B_i)) \quad \text{für } IP_{i2} = \text{min},$$

$$x = (Z_i - B_i)/IP_{i1} \quad \text{für } IP_{i2} = \text{max und}$$

$$x = Z_i \text{ für } IP_{i2} = \text{bool mit } Z_i = 0 \text{ für 'false' bzw.} \\ Z_i = 1 \text{ für 'true'}$$

2. Gauß-Funktionen

$$\text{für } IP_{i3} > 50\%: FW_i = IP_{i3} * e^{-x^2/2d^2}; \quad \text{für } d > 0$$

$$\text{für } IP_{i3} = 50\%: FW_i = 0,5;$$

$$\text{für } IP_{i3} < 50\%: FW_i = (1-IP_{i3})*(1-e^{-x^2/2d^2}); \text{ für } d > 0$$

$$\text{mit } x = (Z_i - B_i)/IP_{i1} \quad \text{für } IP_{i2} = \text{min, max, soll}$$

$$\text{und } x = Z_i \text{ für } IP_{i2} = \text{bool mit } Z_i = 0 \text{ für 'false' bzw.} \\ Z_i = 1 \text{ für 'true'}$$

[0056] Für den Minimum- und Maximum-Direktor wird dabei jeweils nur die halbe Glockenkurve, für den Sollwert die gesamte verwendet.

[0057] Wenn der Wahrscheinlichkeitswert des Strukturelementes IP_{i3} auf "nicht relevant" gesetzt ist, so ist in jedem Fall

$$FW_i = 0.$$

[0058] Dieser Wert wird ebenfalls auf Null gesetzt, wenn das Strukturelement im Zustandsvektor nicht gültig ist (z.B. wenn die Meßstelle abgeschaltet ist).

[0059] Der Exponent n bzw. Delta (d) sind Maße für die Steilheit der Funktion FW . Mit größeren Werten wird eine größere Schärfe der Bewertung erreicht. Letzteres bewirkt eine präzisere Interpretation, setzt aber eine fundierte Wissensbasis voraus.

[0060] Jedes Strukturelement IP_i und $Z_i - B_i$ bringt somit einen Wahrscheinlichkeitsbeitrag zum Wahrscheinlichkeitswert der jeweiligen Interpretation durch Summierung über die Anzahl der Strukturelemente.

[0061] Zur Erhöhung der Signifikanz der Aussage wird die so gebildete Summe auf die Anzahl der "relevanten" Strukturelemente bezogen. Dieser Wert soll als Wahrscheinlichkeitssumme der Interpretation bezeichnet werden. Er berechnet sich als

für $IP_{13} > 50\%$: $FW_1 = IP_{13} * e^{-x^2/2d^2}$; für $d > 0$

für $IP_{13} = 50\%$: $FW_1 = 0,5$;

für $IP_{13} < 50\%$: $FW_1 = (1-IP_{13})*(1-e^{-x^2/2d^2})$; für $d > 0$

mit $x = (Z_1 - B_1)/IP_{11}$ für $IP_{12} = \min, \max, \text{ soll}$

und $x = Z_1$ für $IP_{12} = \text{bool}$ mit $Z_1 = 0$ für 'false' bzw.

$Z_1 = 1$ für 'true'

wobei Ganz die Gesamtanzahl aller Strukturelemente NR_{anz} die Anzahl der auf "nicht relevant" gesetzten Strukturelemente ist.

[0062] Für die Durchführung einer Diagnose mittels eines Zustandsvektors wird sequentiell für jeden dreidimensionalen Mustervektor, wie oben beschrieben, die Wahrscheinlichkeitssumme der Wahrscheinlichkeitswerte gebildet. Diejenige durch den Mustervektor festgelegte Kennwertkombination für einen Betriebszustand der Maschine oder Anlage, welcher die höchste Wahrscheinlichkeitssumme aufweist, wird als die den Anlagenzustand am besten beschreibende Kennwertkombination für den jeweiligen Zustandsvektor ausgegeben.

[0063] Eine Aussage über den Grad der Gültigkeit der Wahrscheinlichkeit läßt sich für jeden Mustervektor zusätzlich treffen durch einen Gültigkeitskennwert GW. Dieser errechnet sich aus dem Verhältnis der Anzahl aller relevanten Strukturelemente des Mustervektors abzüglich der Anzahl der Elemente im Zustandsvektor, die bei "relevant" gesetzten Werten im Mustervektor keine Gültigkeit besitzen, und der Gesamtzahl der Elemente eines Vektors:

$$GW = (G_{anz} - NR_{anz} - NGW_{anz})/G_{anz}$$

mit NGW_{anz} = Anzahl der nicht gültigen Werte im Zustandsvektor, für die im Mustervektor ein relevantes Element vorhanden ist.

[0064] Die Erfindung beschränkt sich in ihrer Ausführung nicht auf das vorstehend angegebene bevorzugte Ausführungsbeispiel. Vielmehr ist eine Anzahl von Varianten denkbar, welche von der dargestellten Lösung auch bei grundsätzlich anders gearteten Ausführungen Gebrauch macht.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung des Betriebszustands einer Maschine oder Anlage, bei dem Schwingungssignale an Teilen der Maschine oder Anlage aufgenommen, einer Signalaufbereitung unterzogen und im Ergebnis dieser Signalaufbereitung erhaltene Größen zusammen mit weiteren, den Betriebszustand der Maschine oder Anlage beschreibenden physikalischen Größen zu einem Betriebszustandsvektor zusammengefasst und zum Zweck der Interpretation des Betriebszustandes mit gespeicherten, typische Betriebszustände kennzeichnenden und in ihren Zeilen die gleiche Struktur wie der Betriebszustandsvektor aufweisenden Mustermatrizen mit Hilfe einer Wahrscheinlichkeitsfunktion verglichen werden, wobei im Ergebnis dieses Vergleichs ein eine Kenngröße für den Betriebszustand der Maschine oder Anlage beinhaltendes Identifikationssignal ausgegeben wird,

dadurch gekennzeichnet, daß

drei- oder mehrzeilige Mustermatrizen verwendet werden, deren Spaltenzahl der Anzahl der Elemente des Betriebszustandsvektors entspricht und die in einer ersten Zeile den Elementen des Betriebsvektors zugeordnete Sollwerte oder boolsche Werte, in einer zweiten Zeile die Art des Wertes betreffende Zusatzinformationen und in einer dritten Zeile den Vergleich mit den Elementen des Betriebszustandsvektors betreffende Wahrscheinlichkeitsaussagen erhält, der Vergleich des Betriebszustandsvektors mit den Mustermatrizen jeweils als Vergleich der Elemente des Betriebszustandsvektors mit den entsprechenden Elementen der ersten Zeile der Mustermatrix unter Verwendung der zugehörigen Zusatzinformation und Wahrscheinlichkeitsaussage ausgeführt wird, wobei als Ergebnis jedes Teilschritts des Vergleichs einzelner Elemente ein Wahrscheinlichkeitsbei-

trag zum Wahrscheinlichkeitswert der jeweiligen, eine Kenngröße des Betriebszustands der Maschine bildenden Mustermatrix ermittelt wird,
 die Wahrscheinlichkeitsbeiträge für alle Elemente einer Mustermatrix zu deren Wahrscheinlichkeitswert aufsummiert werden,
 die Summe der Wahrscheinlichkeitsbeiträge durch die Anzahl der Elemente in der Mustermatrix mit Wahrscheinlichkeitsbeiträgen dividiert wird,
 sequentiell auf diese Weise die Wahrscheinlichkeitswerte der Mustermatrizen ermittelt werden und
 das auszugebende Identifikationssignal in Abhängigkeit von den für die Mustermatrizen jeweils ermittelten Wahrscheinlichkeitswerten festgelegt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebszustandsvektor durch Differenzbildung zwischen dem aktuellen Zustand und einem vorgegebenen Soll-, Anfangs- oder Optimalzustand erhalten wird.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das ausgegebene Identifikationssignal einer Verarbeitungseinheit zugeführt und in dieser zur Erzeugung eines Steuersignals für die Maschine weiterverarbeitet wird und dass das Steuersignal, einer Steuereinheit der Maschine zugeführt wird.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus den als Funktion der Zeit erfaßten und aufbereiteten Schwingungssignalen primäre Kennwerte berechnet werden, daß aus den primären Kennwerten und fest vorgegebenen sowie variablen Bezugswerten und/oder anderen primären Kennwerten sekundäre Kennwerte ermittelt werden und daß aus den, primären und sekundären Kennwerten und ausgewählten Betriebsgrößen der Maschine der Betriebszustandsvektor gebildet wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Identifikationssignal das dem Mustervektor mit dem höchsten Wahrscheinlichkeitswert zugeordnete Identifikationssignal ausgegeben wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Wahrscheinlichkeitswert jedes Mustervektors mit einem sich aus der Anzahl der relevanten Elemente des Mustervektors und der Anzahl der diesen entsprechenden, aber nicht gültigen Elemente des Zustandsvektors ergebenden Gültigkeitskennwert multipliziert und daß das Produkt aus Wahrscheinlichkeitswert und Gültigkeitskennwert der Mustervektoren bei der Synthese des auszugebenden Identifikationssignals zugrundegelegt wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Aufbereitung der Schwingungssignale und die nachfolgenden Schritte in vorgegebenen Zeitabschnitten und/oder zu vorgegebenen Zeitpunkten des Betriebs der Maschine oder wenn die Abweichung eines der Schwingungssignale oder sonstigen Betriebsparameter von einem vorhergehend aufgenommenen Wert einen vorgegebenen Betrag überschreitet, ausgeführt werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass zu den vorgegebenen Zeitabschnitten der An- und der Abfahrvorgang der Maschine zählen.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß die vorgegebenen Zeitpunkte aus der Umdrehung des Rotors der Maschine abgeleitet werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Ermittlung der primären Kennwerte eine Mittel-, Scheitel- oder Effektivwertbildung über einen vorgegebenen Zeitraum sowie die Bestimmung von harmonischen Signalanteilen mit Amplitude und Phase aufweist.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt der Ermittlung der sekundären Kennwerte die Bildung von Differenzen oder Quotienten aus primären Kennwerten beinhaltet.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Falle eines durch mehrere Zustandsvektoren beschreibbaren Zustands der Maschine oder Anlage als Elemente des resultierenden Betriebszustandsvektors Wahrscheinlichkeitswerte verwendet werden und der Schritt der Ermittlung dieser Wahrscheinlichkeitswerte als Elementen-Vergleich der einzelnen Zustandsvektoren mit ihnen entsprechenden einzelnen Mustervektoren unter Aufsummierung der sich in den Schritten des Elementen-Vergleichs ergebenden Wahrscheinlichkeitsbeiträge ausgeführt wird.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zu den weiteren physikalischen Größen die Wellenlage und -bahn und/oder die Lagertemperatur und/oder der Lageröldruck der Maschine, relative und/oder absolute Dehnungen sowie andere beim Betrieb der Maschine regelmäßig zu überwachende Betriebsparameter, wie Leistung, Durchsatz oder Drehzahl gehören.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche zur Überwachung des Betriebszustandes einer Turbomaschine.

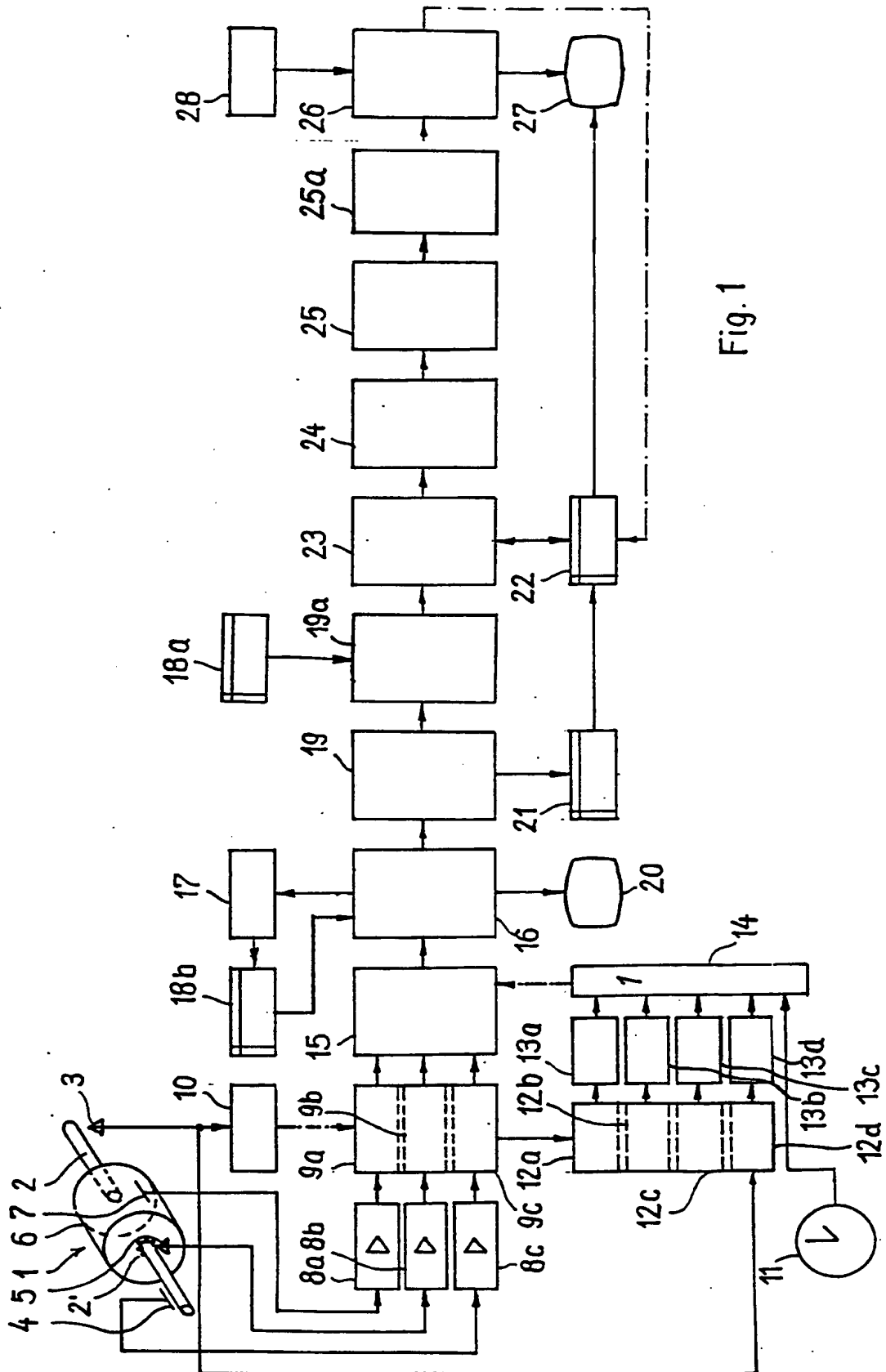
15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalaufbereitung der Schwingungssignale eine Verstärkung der Schwingungssignale umfasst.

16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalaufbereitung der Schwingungssignale eine Fourier-Analyse umfasst.

17. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalaufbereitung der Schwingungssignale eine Differenzbildung mit vorgegebenen Bezugswerten umfasst.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



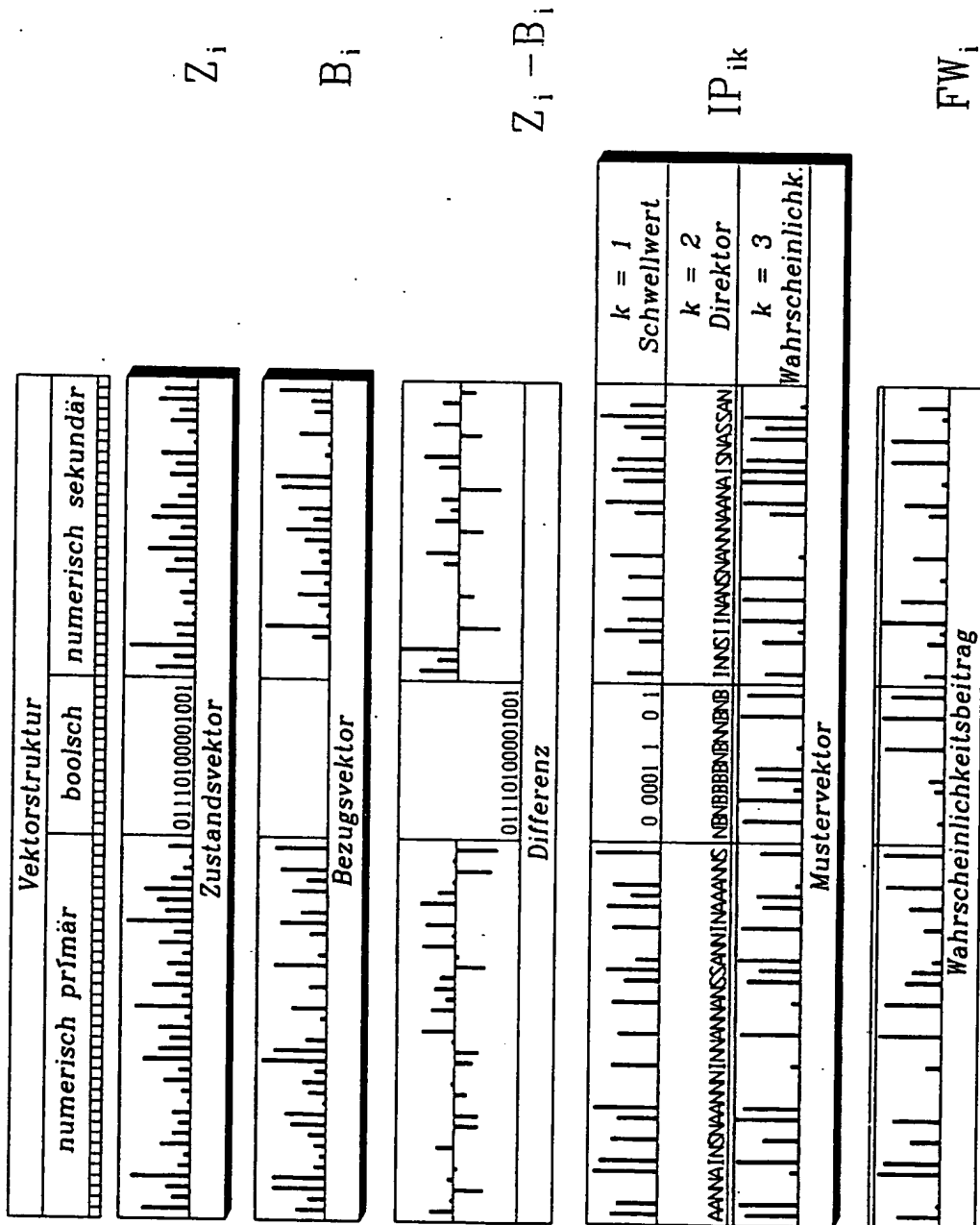


Fig. 2

Direktor: A = Maximum I = Minimum S = Sollwert N = nicht relevant B = Boolesch

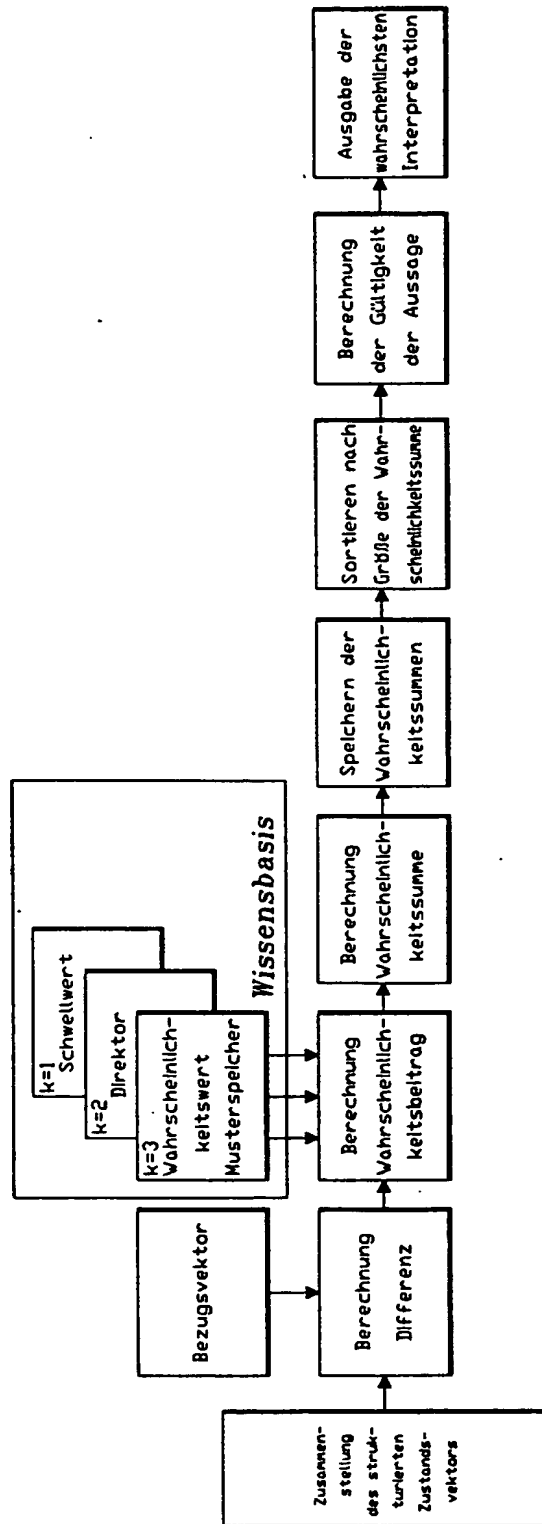


Fig. 3

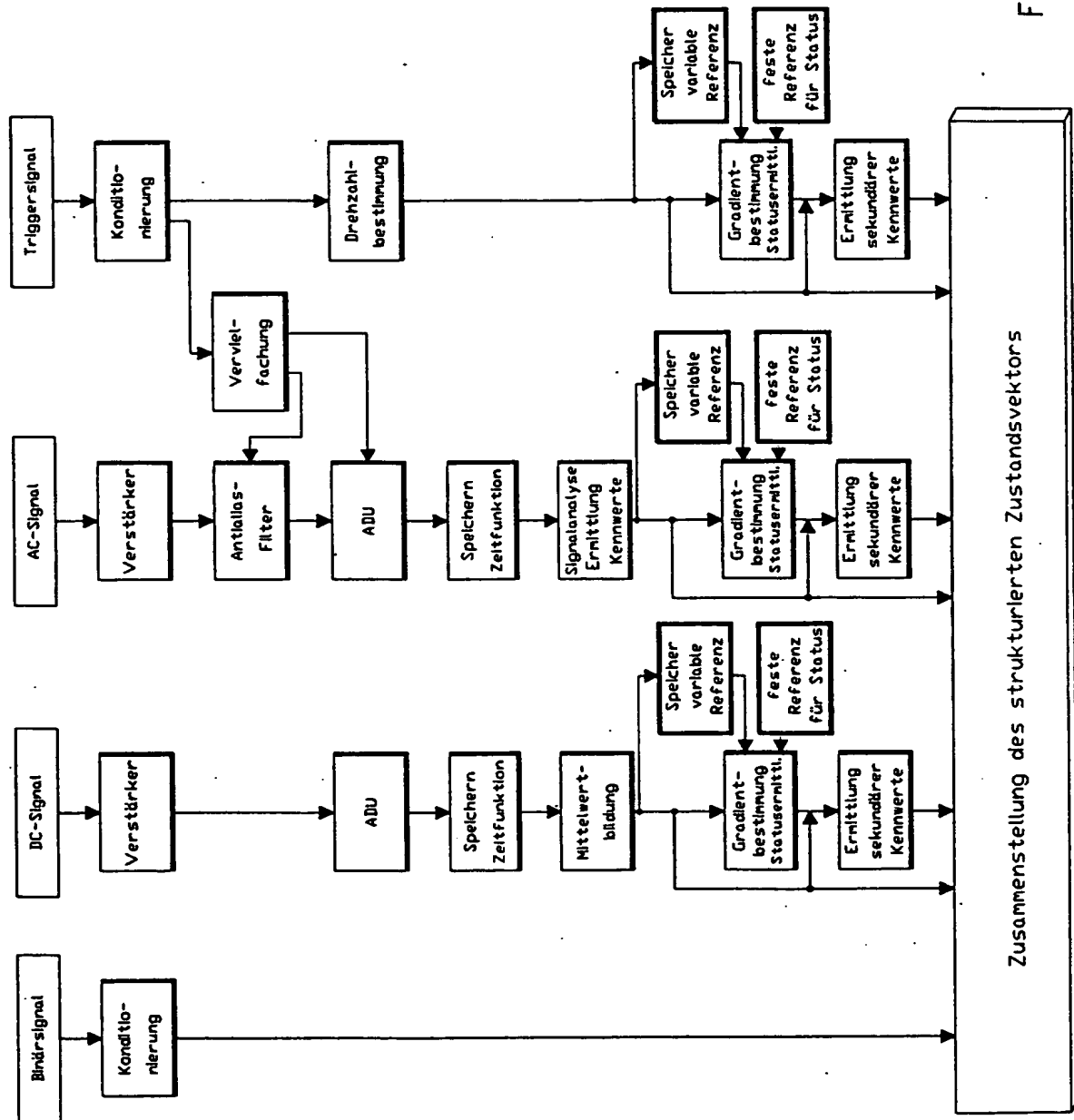


Fig. 4